

北祁连大岔大坂两类辉长岩的地质地球化学特征及其构造环境*

韩 松 贾秀琴

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100080)

钱 青 张 旗

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

王 焰

(西北大学地质系, 西安 710069)

主题词 北祁连 大岔大坂 蛇绿岩 辉长岩 地球化学 构造环境

提 要 在北祁连大岔大坂蛇绿岩中出露的两类辉长岩具有不同的地球化学特征: 辉长岩 II 以富 Si、Mg 和贫 Ti、P 为特征, 与辉长岩 II 有关的辉绿岩 II 以及枕状熔岩具玻安岩的特征, 说明产于岛弧的弧前环境; 辉长岩 I 和辉绿岩 I 具 N-MORB 的特征, 推测产于弧后盆地环境。两类辉长岩的地质地球化学特征表明它们可能形成于慢速扩张的洋脊环境。

早古生代的大岔大坂蛇绿岩位于北祁连造山带的中部, 甘肃省肃南县西南与青海省交界的甘肃一侧。大岔大坂蛇绿岩以出露玻安岩为特征^[1-4], 并出露两种类型的辉长岩: 一类位于蛇绿岩的下部, 与辉绿岩呈互相穿插的关系^[2], 本文称为辉长岩 I; 另一类呈岩墙侵入于大岔大坂蛇绿岩上部具玻安岩特征的枕状熔岩中, 称为辉长岩 II。相应的辉绿岩分别称为辉绿岩 I 和辉绿岩 II。这两类辉长岩具有不同的地球化学特征, 分别来自不同的地幔源区。这种现象在文献中还较少报道, 本文着重研究了两类辉长岩不同的地质产状、REE 和微量元素地球化学特征, 并讨论了它们的构造环境。

1 地质特征

大岔大坂蛇绿岩由变质橄榄岩、辉长-辉绿岩和枕状熔岩三部分岩石组成^[1-2]。蛇绿岩总的为一倒转剖面(图 1)。变质橄榄岩仅出露在剖面南端的大岔垭口, 已大部蛇纹石化。其上(向北)为辉长-辉绿岩单元。边马沟双峰式火山岩沿断层逆冲在大岔大坂方辉橄榄岩和辉长-辉绿岩之上。辉长-辉绿岩单元出露宽度约 1 km, 在该单元内, 辉长岩与辉绿岩呈侵入接触关系, 辉绿岩宽可达数十米, 被辉长岩侵入。局部见伟晶辉长岩呈脉状沿辉长岩裂隙贯入, 与辉长岩无截然的界线。还见到辉绿岩穿插辉绿岩的现象, 表明辉绿岩也不止一

* 国家自然科学基金资助项目。

第一作者简介 韩 松, 女, 1950 年出生, 副研究员, 研究方向: 火成岩地球化学和中子活化分析。

收稿日期 1999-08-10, 改回日期 1999-10-11

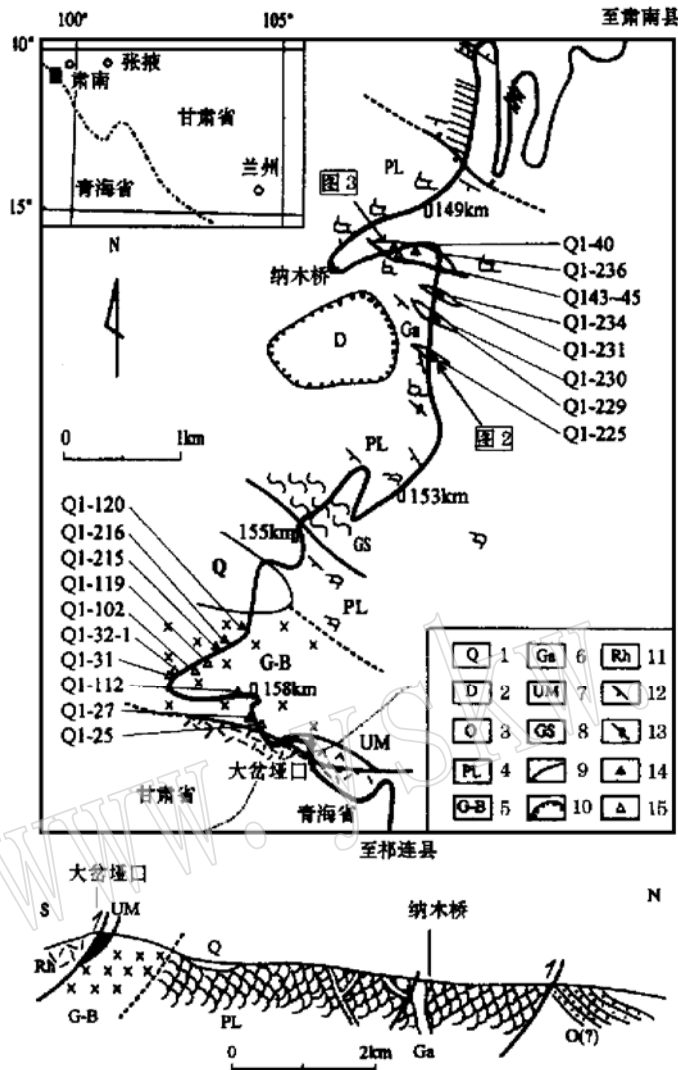


图 1 甘肃省肃南县大岔大坂蛇绿岩采样位置及剖面图

Fig. 1 Sampling locations and section of Dachadaban ophiolite in Sunan County, Gansu Province

1—第四系; 2—泥盆系; 3—奥陶系; 4—枕状熔岩; 5—辉长辉绿岩; 6—辉长岩; 7—变质橄榄岩; 8—绿片岩; 9—断层; 10—不整合界线; 11—流纹岩; 12—火山岩和沉积岩产状; 13—倒转产状; 14—辉长岩采样点; 15—辉绿岩采样点。Q1-40 等为样品号; 153 km 为张掖至祁连县公路里程数

期^[1-2]; 枕状熔岩出露宽度很大, 达 4 km, 内有较多的辉长岩和少量辉绿岩墙贯入。辉长岩宽十几米至近百米, 主要呈岩墙状(图 2), 少量呈岩床状侵入枕状熔岩。单个辉长岩侵入体内部粒度粗, 边部细, 有的辉长岩边部还包裹有枕状熔岩碎块。辉长岩中有的还有辉绿岩墙贯入, 辉绿岩墙宽 0.4~ 2 m, 有的呈不规则状(图 3), 指示侵入作用是在拉张应力下出现的。

辉长岩 I 主要由斜长石和单斜辉石组成, 具辉长结构。斜长石呈长柱状, 几乎全部泥化。单斜辉石呈短柱状, 大都蚀变, 被角闪石、绿泥石、阳起石等替代。辉长岩 II 具堆晶结构, 堆晶晶体主要是斜长石, 次为单斜辉石, 偶尔也见钛磁铁矿(蚀变后见由磁铁矿和白铁矿的交互片晶)。长柱状的斜长石遭受强烈的蚀变, 已泥化和帘石化。单斜辉石大多蚀变为阳起石和绿泥石。堆晶间隙由石英和玻璃组成, 后者已脱玻化为纤闪石和绿泥石的集合体。石英一种为近圆形的颗粒, 大者直径可达 1 mm; 另一种为蠕英石, 由共结的石英和斜长石组成。岩石中石英的含量变化在 3%~ 20% 之间。辉长岩边部粒度细, 有的具辉绿结构(Q1-231)。辉长岩具堆晶结构, 说明辉长岩岩浆是呈晶粥状侵入的。

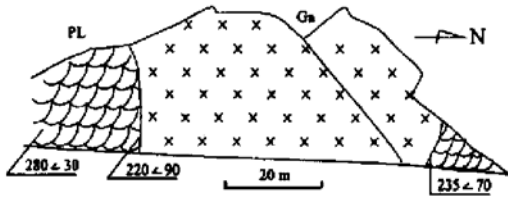


图2 辉长岩与枕状熔岩接触关系

Fig. 2 Contact relationship between gabbro and pillow lava

辉长岩(Ga)侵入枕状熔岩(PL),辉长岩体内部粒度粗,边部细。辉长岩出露于张掖至祁连县公路151.9 km处,位置见图1

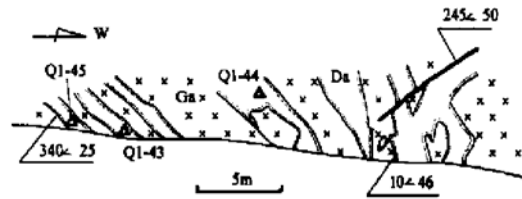


图3 辉长岩与辉绿岩接触关系

Fig. 3 Contact relationship between gabbro and diabase

辉绿岩(Da)呈岩墙状贯入辉长岩(Ga),辉绿岩墙边部具冷凝边。辉绿岩采样点位于张掖至祁连县公路150.3 km处,位置见图1

2 地球化学特征

辉长岩由于经历了不同程度的分离结晶作用,因此,它的成分不能代表从地幔部分熔融出来的岩浆,也不能使用对玄武岩有效的判别图来讨论岩浆的成员及其形成的构造环境^[11]。但少数判别图例外,如:AFM图、V-Ti图和REE图。Ti/V比值是一个很有用的地球化学参数,它与地幔的部分熔融程度、初始岩浆成分以及岩浆源区深度有关,而不受橄榄石、辉石、斜长石分离结晶作用的影响^[12],可用于考察辉长岩的成因。

大盆大坂辉长岩及伴生的辉绿岩的化学分析列于表1。辉长岩II以富Si、Mg和贫Ti、P为特征,镜下辉长岩II普遍含石英,全岩SiO₂含量为53.1%~56.7%,平均54.4%,相当于辉长-闪长岩的范围。在图4A中,辉长岩II落入安山岩区域(一件样品总碱量高,落入粗面安山岩范围,是由于蚀变作用造成的)。辉长岩II同时还普遍富Mg(MgO含量为6.0%~10.5%),因此,尽管该类岩石富Si,仍属于辉长岩类。辉长岩II和辉绿岩II的Ti/V < 20,在V-Ti图中落入岛弧玄武岩范围(图4B),它们的REE配分曲线类似,均为LREE亏损型(图4E, F),但辉长岩更亏损[辉长岩II的平均(La/Yb)_N = 0.44,辉绿岩II的平均(La/Yb)_N = 0.60]。

与辉长岩II有关的枕状熔岩也以富Si、Mg、Cr、Ni和贫Ti、P, Ti/Zr、Ti/V和Zr/Y比值低为特征^[2]。Ti/Zr平均值 < 73,具玻安岩的特征^[8]。枕状熔岩LREE亏损, HREE尤其亏损, Yb仅为球粒陨石的3~8倍^[1],与玻安岩的HREE丰度类似^[7~8],指示岩浆源区极度亏损的特征。枕状熔岩的εNd(t)变化大,在+1.8~+6.3之间^[2],推测也源于亏损地幔,只是由于消减带物质不同程度的带入,才使εNd(t)值产生明显的变化。

辉长岩I和辉绿岩I在AFM图中显示拉斑玄武岩趋势^[2]。辉长岩的Ti含量略低于辉绿岩(表1),表明辉长岩经历了适度的分离结晶作用。辉长岩I与辉绿岩I的Ti/V比值相近,除个别样品外, Ti/V > 20(图4B),表明它们具有类似的成因。辉绿岩I的Ti/Zr比值较高,平均为88, Ti/Zr、Ti/V和Zr/Y比值均类似N-MORB的特征。辉长岩I与辉绿岩I的REE均为亏损(除辉长岩Q1-216外)。其中,辉长岩的ΣREE和HREE丰度略低于辉绿岩(图4C, D),也可以用分离结晶作用来解释。3件辉绿岩I的εNd(t)在+6.3~+7.9之间,1件辉长岩I的εNd(t)较高,为+8.9^[2],表明二者均来自亏损的地幔源区。

表1 大盆大坂蛇纹岩两类辉长岩和辉绿岩的化学分析
Table 1 Chemical analyses of two types of gabro and diabase in Dechadaban ophiolite

样品号	QI-27	QI-120	QI-215	QI-216	QI-25	QI-31	QI-32-1	QI-102	QI-112	QI-119sm	QI-40	QI-225	QI-229	QI-230	QI-231	QI-234	QI-236	QI-43	QI-44	QI-45
名称	辉长岩 I										辉长岩 II									
SiO ₂	51.06	49.03	51.28	48.4	48.94	47.17	51.66	48.44	49.46	55.69	56.05	56.69	52.22	53.34	53.95	53.12	53.86	53.51	52.05	55.29
TiO ₂	1.24	0.46	0.64	0.96	1.2	1.49	1.33	0.92	1.62	1.9	0.47	0.45	0.32	0.39	0.44	0.48	0.35	0.34	0.44	0.48
Al ₂ O ₃	15.07	16.99	13.31	15.17	14.07	13.06	13.11	14.2	13.56	14.18	14.79	16.06	18.22	16.87	14.26	16.76	13.98	11.76	19.19	15.89
Fe ₂ O ₃	5.36	2.41	2.9	4.54	6.39	2.06	4.55	3.31	4.22	3.38	4.14	3.3	2.98	3.87	3.26	3.82	2.56	3.5	3	1.56
FeO	3.73	3.94	4.65	5.14	4.33	8.4	5.72	8.13	6.7	6.7	3.7	3.49	3.46	3.26	4.16	4.06	4.08	4.43	4.74	5.27
MnO	0.17	0.12	0.16	0.16	0.17	0.17	0.15	0.15	0.2	0.15	0.14	0.11	0.13	0.15	0.1	0.09	0.13	0.14	0.13	0.15
MgO	7.77	9.03	9.72	8.63	7.82	7.33	6.69	7.26	7.02	5.53	7.17	5.95	6.68	7.05	9.65	7.35	10.47	12.22	7.39	9.78
CaO	8.66	11.73	11.5	10.86	9.99	7.96	10.98	11.32	8.89	4.43	5.93	8.34	8.66	8.6	7.51	7.82	9.07	5.85	5.56	1.8
Na ₂ O	3.2	3.04	2.29	2.15	3	3.42	3.31	3.86	3.56	3.73	3.43	1.63	2.57	2.52	2.19	1.76	1.43	3.05	3.65	4.13
K ₂ O	0.7	0.27	0.19	0.41	0.11	0.16	0.12	0.07	0.1	0.05	0.39	0.71	0.95	0.54	0.23	0.38	0.16	0.09	0.11	0.08
P ₂ O ₅	0.13	0.05	0.03	0.07	0.13	0.15	0.14	0.1	0.16	0.18	0.07	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
H ₂ O ⁺	2	2.3	2.32	2.98	2.58	4.7	1.12	2.81	2.11	3.2	2.56	2.93	2.82	2.78	3.44	3.82	3.09	3.88	2.99	4.67
Loss	0.28	0.2	0.62	0.19	0.61	4.21	0.64	1.74	0.82	0.62	0.34	0.16	0.49	0.13	0.26	0.25	0.35	0.69	0.4	0.43
Total	99.37	99.57	99.61	99.66	99.34	100.28	99.52	99.9	99.85	99.74	99.18	99.86	99.52	99.52	99.49	99.74	99.56	99.5	99.7	99.6
Mg [#]	0.62	0.73	0.71	0.63	0.59	0.57	0.55	0.6	0.52	0.51	0.64	0.63	0.66	0.66	0.71	0.64	0.75	0.75	0.64	0.73
Ba	82	39	20	46	53	43	32	10	30	20	59	49	75	45	33	47	23	10	19	31
Co	56	32	56	98	57	46	66	46	45	39	32	47	39	49	48	43	41	49	35	24
Cr	246	464	179	201	334	112	94	441	182	88	231	63	168	175	530	282	790	934	65	52
Ni	70	113	103	127	101	47	55	96	54	35	77	43	63	66	243	101	273	254	48	63
Rb	10.52	4.7	3.5	6.1	1.38	7	1.58	2.6	2.9	3.3	6.72	9.1	18	11	7.1	11	2	1.01	1.11	0.8
Sr	167	169	117	163	175	96	125	108	100	65	135	184	105	142	116	183	79	38	96	35
V	302	204	237	195	286	359	354	256	356	389	271	211	173	215	193	248	157	222	231	230
Y	27	13	17	14	28	32	31	22	39	27	14	13	9.6	10	12	10	9.8	10	13	15
Sc	44.1	48	48	38	48.7	48.7	42.1	45	48.4	48.4	37	38	41	39	42	35	35	0.44	0.75	0.85
Hf	0.79	1	0.814	1.37	1.32	2.36	1.85	1.88	2.86	3.42	0.57	0.786	0.488	0.449	0.802	0.618	2.17	0.24	0.31	0.49
Th	0.3	0.17	0.05	0.408	0.35	0.19	0.31	0.37	0.28	0.49	0.25	0.217	0.1	0.235	0.245	0.225	0.464	0.24	0.31	0.49
Zr	84	37	34	52	94	100	100	70	114	115	38	34	24	27	32	28	26	28	39	43
La	4.02	1.49	0.904	4.48	3.99	5.25	4.04	3.82	5.24	4.19	1.11	1.33	0.562	0.986	1.15	0.982	1.05	1.05	1.35	2.22
Ce	10.87	4.37	3.22	8.18	12.17	13.6	11.6	10.4	14.4	12.4	3.24	2.97	1.92	2.75	2.18	2.1	3.41	2.72	3.81	5.84
Nd	9.42	3.58	3.37	6.29	11.17	10.8	10.36	8.26	11.9	9.76	2.97	2.67	1.66	1.87	1.83	1.87	2.4	2.12	3.28	4.52
Sm	3.37	1.37	1.34	1.68	3.68	3.86	3.55	2.56	3.87	3.17	1.18	0.997	0.616	0.744	0.926	0.801	0.81	0.81	1.21	1.57
Eu	1.19	0.67	0.512	0.638	1.32	1.37	1.19	1.68	1.22	1.22	0.45	0.418	0.299	0.51	0.389	0.439	0.466	0.44	0.4	0.56
Tb	0.79	0.38	0.367	0.393	0.86	0.9	0.91	0.63	1.15	0.92	0.31	0.349	0.212	0.393	0.26	0.367	0.372	0.23	0.32	0.42
Yb	3.03	1.46	2.05	1.54	3.13	4	3.52	2.63	4.05	3.87	1.44	1.6	1.18	1.43	1.52	1.41	1.27	1.1	1.56	1.7
Lu	0.45	0.23	0.264	0.204	0.47	0.58	0.54	0.36	0.63	0.55	0.21	0.224	0.19	0.184	0.219	0.196	0.155	0.17	0.23	0.26

主元素: Ba, Co, Cr, Ni, Nb, Rb, Sr, V, Y, Zr 为 XRF 方法分析; 分析者: 北京有色冶金设计研究院总院李中山和吴伟; REE, Sc, Hf, Ta, Th, U 为中子活化(INAA)方法分析; 分析者: 中国科学院高能物理研究所韩松、贾秀琴。XRF 和 INAA 分析的分析误差为 6% 以外, 其余均 < 5%; 微量元素误差以 Y 较大 (< 25%), 其次为 Co (< 15%), Ba, Ni, V, Ta, Lu, Eu < 10%, 其余 < 5%。

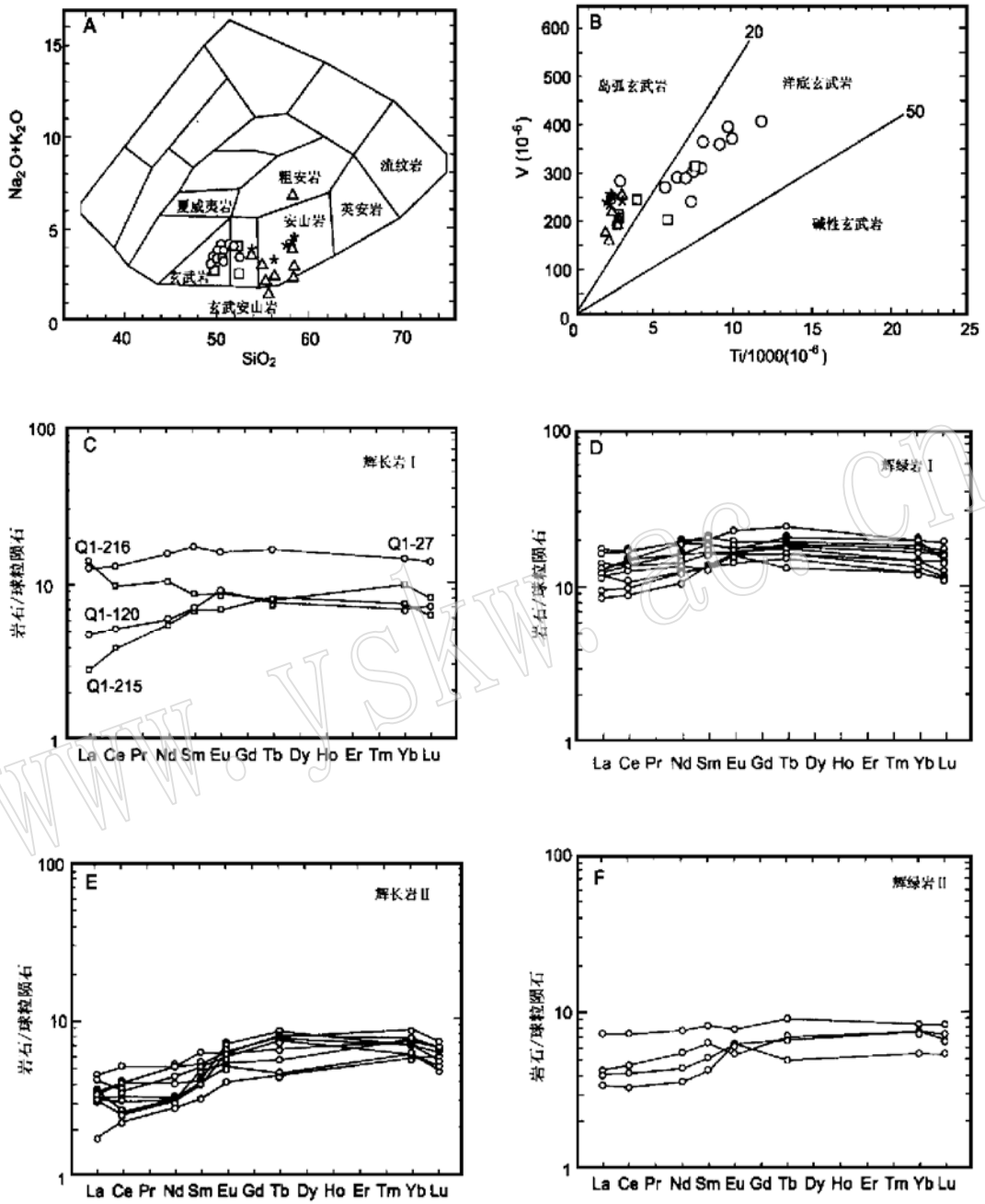


图 4 大盆大坂辉长岩和辉绿岩主元素和微量元素图解

Fig. 4 Diagrams of major and trace elements in Dachadaban gabbro and diabase

A: $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 图; B: V - Ti 图; C - F: 球粒陨石标准化的 REE 配分图;

□ - 辉长岩 I; ○ - 辉绿岩 I; △ - 辉长岩 II; * - 辉绿岩 II

两类辉长岩的 Ti/V 比值不同, HREE 不同 (辉长岩 I 的平均 $\text{Yb}_N = 10.1$, 辉长岩 II 的平均 $\text{Yb}_N = 7.3$), 暗示辉长岩 II 的地幔源区比辉长岩 I 更加亏损。但两类辉长岩的 $\text{Mg}^\#$

[Mg/(Mg+Fe)]值相当,分别在0.62~0.73和0.63~0.75之间,且Mg[#]平均值相同,均为0.67,暗示两类辉长岩是各自独立的岩浆,分别来自不同的地幔源区。

3 讨论

野外观察表明,辉长岩I与辉绿岩I呈交替的侵入关系,它们具类似的地球化学特征(相似的Ti/V比值和 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值、LREE亏损),说明二者不仅在时间和空间上有关,还可能成因上的联系。辉长岩I和辉绿岩I之间相互穿插的关系揭示了洋脊下重要的动力学过程,它说明:(1)洋盆扩张脊处岩浆房内的岩浆活动是频繁的;(2)岩浆活动处于拉张应力条件下;(3)洋壳厚度较薄,使得较早贯入的岩浆能迅速冷却。这种现象与北大西洋中脊和阿尔卑斯蛇绿岩的特征类似^[9],是慢速扩张的洋脊的特点。本区的辉长岩I和辉绿岩I具N-MORB的特征,推测产于弧后盆地环境。

辉长岩II则与辉长岩I不同。据野外观察,在具玻安岩性质的枕状熔岩形成之后,辉长岩II呈岩墙和岩床状侵入(图1和图2)。随后,辉长岩II由于拉张作用而破裂,辉绿岩II顺着这种张裂隙侵入进来(图3)。玻安岩通常被认为形成于岛弧的弧前环境^[2,7,8],这个过程发生在弧前环境,表明从枕状熔岩喷出经辉长岩侵入到最后辉绿岩的贯入,经历了一个复杂的过程,虽然目前我们还不清楚这个过程有多长。辉长岩II规模不大,具堆晶结构,说明辉长岩浆是呈晶粥状沿裂隙挤上来的,而非玄武质岩浆侵入之后就地冷凝固晶的。在特罗多斯蛇绿岩中也发现了许多类似晶粥的侵入体,推测是以晶体-流体悬浮物状态存在的玄武质熔体伴随地幔底辟时侵入的^[10]。深海钻探证实,在慢速扩张的大洋中脊之下不存在一个规模巨大的岩浆房,辉长岩不是简单的由斑晶堆晶或自身沉淀形成的^[6],而是由晶粥的多次侵入所形成的^[5]。由此看来,过去认为洋中脊之下存在一个稳定的岩浆房,由于岩浆的结晶分离作用而依次形成超镁铁质堆晶岩、镁铁质堆晶岩和辉长岩的观点,至少在慢速扩张的洋中脊下是不成立的。

在一套蛇绿岩中出现两种类型的辉绿岩和辉长岩是很少见的。地质研究结果表明,在辉长-辉绿岩与枕状熔岩单元之间可能为断层接触^[2]。下伏的辉长岩I和辉绿岩I具MORB的特征,推测产于弧后盆地环境;而上覆的具玻安岩特征的枕状熔岩和辉长岩II具弧前环境的性质。据此推测,大盆大坂蛇绿岩应形成于岛弧-弧后盆地环境,蛇绿岩下部成员是产于弧后盆地阶段的岩石组合,蛇绿岩的上部成员叠加在弧后MORB洋壳之上^[2]。

参 考 文 献

- 1 陈雨,周德进,王二七等. 北祁连肃南县大盆大坂蛇绿岩中玻安岩系岩石的发现及其地球化学特征. 岩石学报, 1995, 11(蛇绿岩专集): 147~153.
- 2 张旗,孙晓猛,周德进等. 北祁连蛇绿岩特征、形成环境及其构造意义. 地球科学进展, 1997, 12: 366~393.
- 3 张旗, Chen Yu, 周德进等. 北祁连大盆大坂蛇绿岩中玻安岩的地球化学特征及其成因. 中国科学, 1998, D28: 30~34.
- 4 夏林圻,夏祖春,徐学义. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学. 西北地质科学, 1995, 16: 1~28.
- 5 金性春,周祖翼,汪品先(编著). 大洋钻探与中国地球科学. 上海: 同济大学出版社. 1995.
- 6 Bedard J H. Ocean crust as a reactive filter: Synkinematic intrusion, Hydrization, and assimilation in an ophiolitic magma chamber, western Newfoundland. Geology, 1993, 21: 77~80.

- 7 Cameron W E. Petrology and origin of primitive lavas from the Troodos ophiolite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1985, 89: 239 ~ 255.
- 8 Hickey R L, Frey F A. Geochemical characteristics of boninite series volcanics: implications for their source. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1982, 46: 2099~ 2115.
- 9 Lagabrielle Y, Cannat M. Alpine Jurassic ophiolites resemble the modern central Atlantic basement. *Geology*. 1990, 18: 319~ 323.
- 10 Laurent R. Peridotite intrusions emplaced in the fossil suprasubduction zone environment of Cyprus. in: Parson et al. eds. *Ophiolites and their Modern Oceanic Analogues*. London: Geol. Soc. Publ. House, 1992, 233~ 239.
- 11 Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. in: *Marginal Basin Geology*. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 1984b, 16: 77~ 94.
- 12 Shervais J W. Ti- V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1982, 59: 101 ~ 118.

Geological and Geochemical Characteristics of Two Types of Gabbro in Dachadaban, North Qilian and Its Tectonic Environment

Han Song, Jia Xiuqin

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Qian Qing, Zhang Qi

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Wang Yan

(Department of Geology Northwest University, Xi'an 710069)

Key words: North Qilian Mountains; Dachadaban; ophiolite; gabbro; geochemistry; tectonic environment.

Abstract

Two types of gabbro are exposed in Dachadaban ophiolite in North Qilian Mountains. One is in the lower part of the ophiolite, called gabbro I, whereas the other intruded as dikes into pillow lava with boninite character in the upper part of the ophiolite, called gabbro II. These two types of gabbro show different geochemical characteristics. Gabbro II is characterized by rich Si, Mg and poor Ti, P, and diabase II and pillow lava associated with gabbro II have features of boninite, suggesting a fore-arc environment. By contrast, gabbro I and diabase I is of N-MORB, assuming a back-arc basin setting. Geochemical characteristics of two types of gabbro suggest that their formation environment is an oceanic ridge of low spreading rate.